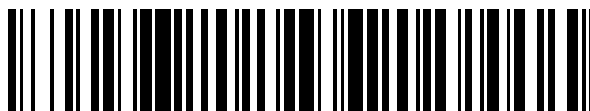


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 550 982**

51 Int. Cl.:

H01M 8/12 (2006.01)

H01M 8/04 (2006.01)

B63G 8/08 (2006.01)

H01M 8/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2010 E 10723715 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2015 EP 2422394**

54 Título: **Dispositivo que incluye una pila de combustible de producción de electricidad para un submarino**

30 Prioridad:

21.04.2009 FR 0952602

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.11.2015

73 Titular/es:

**DCNS (100.0%)
40-42, rue du Docteur Finlay
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

RETHORE, SYLVAIN

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 550 982 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo que incluye una pila de combustible de producción de electricidad para un submarino

- 5 **[0001]** La invención tiene como campo el de los submarinos y más en particular los submarinos que incluyen un dispositivo de producción de electricidad del tipo que comprende una pila de combustible.
- [0002]** Hoy en día se conocen diferentes tipos de pilas de combustible.
- 10 **[0003]** Para un uso a bordo de un submarino, actualmente se plantea el empleo de un sistema embarcado de producción de hidrógeno a partir del reformado de un hidrocarburo, asociado a una pila de combustible que funciona a baja temperatura. El documento GB-2.250.130-A desvela una pila de este tipo que funciona a baja temperatura.
- [0004]** Dicho dispositivo de producción de electricidad presenta numerosas dificultades, relacionadas sobre todo con restricciones asociadas a la implantación en un submarino. Así, el almacenamiento y el suministro del gas oxigenado y del combustible hidrogenado necesarios para el funcionamiento de la pila presentan dificultades, como, por ejemplo, la implementación de varios reactores químicos sucesivos cuyos parámetros de funcionamiento respectivos son difíciles de controlar.
- 15 **[0005]** En particular, el reformado, corriente arriba de la pila, requiere el uso de un quemador catalítico específico capaz de suministrar la energía necesaria para la reacción. Este quemador funciona usando oxígeno. Ahora bien, al estar la autonomía de un submarino limitada por la cantidad de oxígeno que puede embarcar, el oxígeno usado por el quemador de reformado reduce significativamente la autonomía del submarino.
- 20 **[0006]** Además, el tiempo de arranque del dispositivo que corresponde al tiempo necesario para el establecimiento de las reacciones de oxidación-reducción en el interior de la pila es largo.
- [0007]** Finalmente, las potencias teóricas que se podrían alcanzar con estas pilas siguen siendo reducidas y, en todo caso, incompatibles con las potencias necesarias para la propulsión de un submarino.
- 25 **[0008]** La invención tiene así por objeto proponer un dispositivo de producción de electricidad del tipo que comprende una pila de combustible destinado a equipar a un submarino y que permita paliar las dificultades citadas anteriormente y, en particular, que permita obtener potencias elevadas, con rendimientos incrementados especialmente en términos de autonomía, sin comprender en todo caso más que un número reducido de equipos
- 30 **[0009]** Para ello la invención tiene por objeto un submarino que incluye un dispositivo de producción de electricidad que comprende una pila de combustible, medios de alimentación de gas oxigenado, medios de alimentación de combustible hidrogenado y medios de evacuación de efluentes gaseosos. El submarino se caracteriza porque la pila de combustible es una pila de reformado interno que funciona a alta temperatura y a alta presión, siendo la presión de funcionamiento de la pila superior o igual a una presión de inmersión del submarino, porque los medios de alimentación de gas oxigenado y los medios de alimentación de combustible hidrogenado son capaces de llevar el gas oxigenado y el combustible hidrogenado a una presión adaptada a la presión de funcionamiento para que el gas oxigenado y el combustible hidrogenado sean inyectados directamente en la pila, y
- 35 **[0010]** De acuerdo con formas particulares de la invención, el submarino incluye una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles:
- 40 - Los medios de evacuación de efluentes gaseosos incluyen un circuito de evacuación de efluentes gaseosos provisto de una válvula de regulación de presión que permite mantener la presión de funcionamiento por encima de la presión de inmersión.
- 45 - Los medios de evacuación de efluentes gaseosos incluyen, además, un quemador corriente abajo conectado en la entrada, por una parte, a un cátodo de la pila de combustible y, por otra parte, a un ánodo de la pila de combustible, y conectado en la salida a la válvula de regulación de presión.
- 50 - Los medios de evacuación de efluentes gaseosos comprenden, además, un dispositivo de recuperación de la

energía térmica de los efluentes gaseosos.

- El dispositivo de recuperación de la energía térmica de los efluentes gaseosos es un circuito secundario que incluye un generador de vapor, una turbina de vapor acoplado a un alternador, un condensador de vapor y una bomba de recirculación, estando el generador de vapor acoplado al circuito de evacuación de efluentes gaseosos.

- Los medios de alimentación de gas oxigenado incluyen un depósito de oxígeno capaz de contener oxígeno puro en fase líquida.

10 - Los medios de alimentación de gas oxigenado incluyen un vaporizador capaz de generar oxígeno gaseoso para alimentar la pila de combustible, y una bomba capaz de introducir oxígeno líquido en el vaporizador a una presión adaptada a la presión de funcionamiento.

- Los medios de alimentación de combustible hidrogenado incluyen un depósito de hidrocarburos y una bomba capaz de introducir combustible hidrogenado en la pila de combustible a la presión de funcionamiento.

- Los medios de alimentación de combustible hidrogenado comprenden, además, un quemador corriente abajo conectado entre la bomba y la pila de combustible, estando el quemador corriente abajo alimentado con combustible por una derivación de medios de alimentación de gas oxigenado, constituyendo el quemador corriente abajo un sistema de precalentamiento del combustible hidrogenado.

- Al menos la pila de combustible se implanta en un recipiente resistente a la presión cuya presión interna se mantiene a la presión de funcionamiento de la pila de combustible.

25 - La presión de funcionamiento de la pila de combustible es superior o igual a 10 bares, y preferentemente superior o igual a una presión de inmersión máxima del submarino.

[0011] La invención tiene asimismo por objeto un dispositivo de producción de electricidad para un submarino, del tipo que incluye una pila de combustible, medios de alimentación de gas oxigenado, medios de alimentación de combustible hidrogenado y medios de evacuación de efluentes gaseosos. Este dispositivo se caracteriza porque la pila de combustible es una pila de reformado interno que funciona a alta temperatura y a alta presión, siendo la presión de funcionamiento de la pila superior o igual a una presión de inmersión del submarino, porque los medios de alimentación de gas oxigenado y los medios de alimentación de combustible hidrogenado son capaces de llevar el gas oxigenado y el combustible hidrogenado a una presión adaptada a la presión de funcionamiento para que el gas oxigenado y el combustible hidrogenado sean inyectados directamente en la pila, y porque los medios de evacuaciones de los efluentes gaseosos son capaces de evacuar los efluentes gaseosos al exterior del submarino cuando el submarino está sumergido.

[0012] La invención y sus ventajas se comprenderán mejor a partir de la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, proporcionada únicamente a modo de ejemplo, y hecha en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una representación esquemática de un submarino según la invención;

45 - la figura 2 representa esquemáticamente una forma de realización de una pila de reformado interno implementada en el dispositivo de producción de electricidad de la figura 1;

- la figura 3 representa un dispositivo de producción de electricidad de la figura 1;

50 - la figura 4 representa una variante de realización del dispositivo de producción de electricidad de la figura 1; y,

- la figura 5 representa una variante de realización del dispositivo de producción de electricidad de la figura 1.

[0013] La figura 1 representa esquemáticamente un submarino 2 equipado con un dispositivo de producción de electricidad 4 capaz de suministrar una potencia eléctrica. Preferentemente, el dispositivo de producción de electricidad 4 alimenta en particular un motor (no representado) de arrastre de los medios de propulsión 6 del submarino 2 y genera una potencia suficiente para arrastrar estos medios de propulsión 6.

[0014] El dispositivo de producción de electricidad 4 incluye una pila 24 que es una pila de combustible de

reformado interno que funciona a alta temperatura y a alta presión.

[0015] La temperatura de funcionamiento de la pila está entre 800° y 1.000°C, y preferentemente es del orden de 950°C.

5

[0016] La presión de funcionamiento P de la pila de combustible es superior o igual a la presión de inmersión P₀ que es ejercida por el agua de mar en el casco del submarino y que depende de la profundidad a la que se sumerge el submarino. El submarino 2 está diseñado para resistir presiones de inmersión P₀ inferiores o iguales a una presión de inmersión máxima P_{0máx}. La presión de funcionamiento P de la pila de combustible es, preferentemente, superior a la presión de inmersión máxima P_{0máx} y, en cualquier caso, superior a 10 bares.

10

[0017] En la forma de realización planteada actualmente y representada en la figura 2, la pila 24 incluye un apilamiento periódico de celdas sustancialmente planas.

15

[0018] La figura 2 representa un periodo de este apilamiento, situado entre dos planos P y P'. Este periodo incluye, a una y otra parte de un plano A de simetría, celdas de circulación de oxígeno 301, 301', cátodos 302, 302', membranas de electrolito 304, 304', ánodos 305, 305', celdas de circulación del reformado 306, 306', paredes de separación 307, 307', celdas de circulación del combustible hidrogenado 308, 308' y una pared intermedia de catálisis 309.

20

[0019] La membrana de electrolito 304, respectivamente 304', es una membrana porosa que separa el cátodo del ánodo 28 permitiendo en todo caso el intercambio de iones entre estos dos últimos.

25

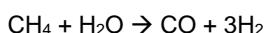
[0020] La pared intermedia de catálisis 309 es de un material adaptado para favorecer el reformado. Este material es, por ejemplo, níquel.

30

[0021] La mezcla de combustible hidrogenado y vapor de agua se inyecta directamente en las celdas de circulación 308 y 308' situadas entre las dos paredes de separación 307 y 307' y circula a lo largo de la pared intermedia de catálisis 309. Las condiciones de temperatura y de presión son tales que tiene lugar una reacción de reformado con vapor.

35

[0022] El reformado con vapor (SMR, por el término inglés «SteAM Reforming»), que es la reacción de reformado que presenta el mejor rendimiento de conversión, es una reacción endotérmica catalítica que produce hidrógeno por reacción de un hidrocarburo con agua. Por ejemplo, si el hidrocarburo es metano, la reacción es la siguiente:



40

[0023] Los productos de esta reacción de reformado, o reformados, se ponen en movimiento por convección y circulan en la pila 24. Llegan a las celdas de circulación del reformado 306 y 306'.

[0024] Entonces tienen lugar reacciones de oxidación-reducción que generan calor y una corriente eléctrica disponible entre cada par ánodo/cátodo 302-305 y 302'-305'.

45
50

[0025] La cara de la membrana de electrolito 304, respectivamente 304', orientada hacia la pared intermedia de catálisis 309 está provista de salientes 310, respectivamente 310', que entran en contacto con la pared de separación frente a frente, 307, respectivamente 307'. Estos salientes forman puentes térmicos que transfieren el calor de las reacciones de oxidación-reducción hacia las celdas de circulación del combustible hidrogenado 308, 308' de manera que el calor producido por las reacciones de oxidación-reducción aporta el calor necesario para el mantenimiento de las reacciones de reformado, que son reacciones endotérmicas.

[0026] Debe observarse que las reacciones de reformado y de oxidación-reducción se producen a temperaturas similares.

55

[0027] La pila de reformado interno presenta así la ventaja de optimizar la gestión de los flujos térmicos. En particular, para el funcionamiento en régimen permanente, no hay necesidad de un medio adicional de calentamiento del reactor de reformado, tal como un quemador que consume oxígeno.

[0028] La pila de reformado interno presenta igualmente la ventaja de permitir la supresión de los medios de

reformado y de purificación que, en la técnica anterior, están situados corriente arriba y en el exterior de la pila. El dispositivo que implementa una pila de reformado interno es, en consecuencia, más compacto.

5 **[0029]** En referencia de nuevo a la figura 1, el dispositivo de producción de electricidad 4 incluye un recipiente 8 en el interior del cual se implanta la pila 24. El recipiente 8 es resistente a la presión y se mantiene a una presión interna igual a la presión de funcionamiento P de la pila 24. Esta disposición permite confinar la pila 24 y aumentar la seguridad del dispositivo de producción de electricidad embarcado a bordo de un submarino.

10 **[0030]** Corriente arriba de la pila de combustible, el dispositivo de producción de electricidad 4 incluye medios de alimentación de gas oxigenado, indicados de forma general por la referencia 11, y medios de alimentación de combustible hidrogenado, indicados de manera general por la referencia 15.

15 **[0031]** Corriente abajo del recipiente 8, el dispositivo de producción de electricidad 4 incluye medios de evacuaciones de efluentes producidos por la pila de combustible, indicados de forma general por la referencia 20. Los medios de evacuaciones de los efluentes 20 permiten verter los subproductos de las reacciones químicas que han tenido lugar en la pila 24, al exterior del submarino 2, directamente en el mar, en cualquier momento de la inmersión. De esta forma, no es necesario prever medios de almacenamiento de los efluentes en el interior del submarino, al contrario de los dispositivos de la técnica anterior.

20 **[0032]** Por ello la pila de combustible debe tener una presión de funcionamiento superior a la presión de inmersión del submarino de manera que se produzcan efluentes a una presión superior a la presión del agua en el exterior del submarino, sin que sea necesario aumentar la presión de estos efluentes con ayuda, por ejemplo, de un compresor.

25 **[0033]** La figura 3 ilustra en detalle un dispositivo de producción de electricidad 4 según la invención.

[0034] En esta figura, se ha representado esquemáticamente la pila 24, implantada en el recipiente 8 resistente a la presión, con un cátodo 26, que forma el polo positivo de un generador de corriente eléctrica, y un ánodo 28, que forma el polo negativo del generador de corriente eléctrica.

30 **[0035]** Corriente arriba de la pila 24, los medios de alimentación de gas oxigenado 11 comprenden un depósito 12 capaz de contener oxígeno líquido y un circuito 13 que conecta el depósito 12 con el cátodo 26 de la pila 24. El circuito 13 está provisto de una bomba 14 y de un vaporizador 32, dispuestos en serie. La bomba 14 aumenta la presión del oxígeno líquido llevado desde el depósito 12 para introducirlo en el vaporizador 32 en el que domina una presión igual a la presión de funcionamiento P de la pila de combustible 24. El vaporizador 32 permite, al transferirle una cantidad de calor adaptada, vaporizar el oxígeno líquido introducido por la bomba 14, de forma que alimente el cátodo 26 con oxígeno en estado gaseoso.

40 **[0036]** El oxígeno líquido usado es oxígeno molecular O₂ y preferentemente oxígeno molecular puro.

45 **[0037]** La alimentación de la pila de combustible a partir de un depósito de oxígeno líquido por medio de una bomba que introduce oxígeno líquido a una presión elevada en el vaporizador presenta la ventaja de consumir menos energía que un bombeo en un gas a la presión corriente, con el fin de elevar la presión del oxígeno a la presión que rige en el interior del recipiente.

50 **[0038]** Corriente arriba de la pila de combustible 24, los medios de alimentación de combustible hidrogenado 17 comprenden un depósito de combustible hidrogenado 16 y un circuito 17 que conecta el depósito 16 con el ánodo 28 de la pila de combustible 24. El circuito 17 está provisto de una bomba 18 que permite aumentar la presión del combustible hidrogenado llevado desde el depósito 16, para introducirlo directamente en el ánodo 28 en el que rige una presión igual a la presión de funcionamiento P de la pila de combustible.

[0039] El combustible hidrogenado es un hidrocarburo o una mezcla de hidrocarburos de fórmula genérica C_nH_m, o C_nH_mO_p.

55 **[0040]** Corriente abajo de la pila de combustible 24, los medios de evacuación de los efluentes 20 comprenden un quemador corriente abajo 36 conectado, en la entrada, por un primer circuito 34, al cátodo 26 de la pila 24 y, por un segundo circuito 35, al ánodo 28 de la pila 24. El quemador corriente abajo 36 está conectado, en la salida, por un circuito de evacuación 21 a una boca situada en el casco del submarino 2 y que se abre al exterior de éste. El circuito de evacuación 21 está provisto de una válvula de regulación de presión 22 para poder mantener la

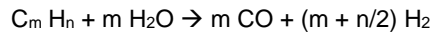
presión de funcionamiento de la pila 24 por encima de la presión de inmersión P_0 , controlando el flujo de efluentes gaseosos.

[0041] A continuación se describirá el funcionamiento del dispositivo de producción de electricidad 4 del submarino 2.

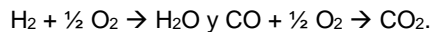
[0042] La bomba 14 de los medios de alimentación de gas oxigenado 11 es accionada para llevar una cantidad de oxígeno líquido desde el depósito 12 al vaporizador 32 en el que esta cantidad de oxígeno experimenta un cambio de fase. A continuación se introduce el oxígeno gaseoso en el cátodo 26.

[0043] En paralelo, la bomba 18 de los medios de alimentación de combustible hidrogenado es accionada para llevar una cantidad de combustible hidrogenado desde el depósito 16 directamente a la pila 24.

[0044] En el interior de la pila 24, tiene lugar una primera etapa de reformado con vapor del combustible hidrogenado. Se hace posible por la temperatura de funcionamiento elevada del orden de 950°C . En el curso de esta primera etapa de reacción, el combustible hidrogenado se transforma según la reacción química siguiente:



[0045] La mezcla obtenida, rica en hidrógeno molecular, experimenta una segunda etapa de oxidación-reducción, de acuerdo con las ecuaciones de reacción siguientes:



[0046] Una parte del agua producida durante la segunda etapa de oxidación-reducción es usada en la primera etapa de reformado con vapor. Así, el dispositivo de producción de electricidad 4 es autónomo en agua.

[0047] Los efluentes evacuados de la pila 24 son introducidos en el quemador corriente abajo 36. Los efluentes quemados son extraídos del quemador 36 a la presión de funcionamiento P de la pila de combustible y expulsados, a través de la válvula de regulación de presión 22, al agua de mar en el exterior del submarino 2 en inmersión.

[0048] En el dispositivo que se describirá a continuación, el vaporizador 32 y el quemador corriente abajo 36 se implantan en el recipiente bajo presión 8.

[0049] Como variante, el quemador corriente abajo 36 es implantado en el exterior del recipiente 8 y/o el vaporizador 32 es colocado en el exterior del recipiente 8.

[0050] Para iniciar las reacciones químicas que deben tener lugar en la pila 24, el dispositivo de producción de electricidad debe iniciarse mediante un sistema de precalentamiento del combustible hidrogenado. Una vez puesta la pila en funcionamiento, el precalentamiento del combustible deja de ser útil. En el dispositivo que se presenta, el sistema de precalentamiento es externo al dispositivo de producción de electricidad 4. Se encuentra en la dársena o embarcado a bordo del submarino 2.

[0051] En la variante de realización representada en la figura 4 el sistema de precalentamiento está integrado en el dispositivo de producción de electricidad de forma que confiera a este último una autonomía de funcionamiento en el arranque.

[0052] Según esta variante, los medios de alimentación de combustible hidrogenado 115 del dispositivo de producción de electricidad 104 incluyen un quemador corriente arriba 50 como sistema de precalentamiento. El quemador corriente arriba 50 es colocado en paralelo a una canalización 117 del circuito 17 de alimentación de combustible hidrogenado, entre la bomba 18 y el ánodo 28. Unas válvulas primera y segunda 52 y 54 permiten conectar o aislar el quemador corriente arriba 50 de la canalización 117. Cuando las válvulas primera y segunda 52 y 54 están abiertas, una fracción del flujo de combustible hidrogenado llevado por la bomba 18 circula en el quemador corriente arriba 50.

[0053] El quemador corriente arriba 50 es alimentado con combustible por una canalización 56 conectada en derivación del circuito de alimentación de gas oxigenado 13. El quemador corriente arriba 50 se coloca corriente abajo del vaporizador 32. La canalización 56 incluye una tercera válvula 58 que permite, cuando se abre, alimentar

el quemador corriente arriba 50 de gas oxigenado en forma gaseosa.

- [0054]** El quemador corriente arriba 50 se usa únicamente en la puesta en funcionamiento del dispositivo de producción de electricidad 104 para realizar un precalentamiento de los equipos usados en las reacciones químicas que deben producirse en la pila de combustible 24. Una vez que las reacciones químicas se inician, las válvulas 52, 54 y 58 se cierran para aislar el quemador corriente arriba 50 de los circuitos de alimentación 13 y 17. La alimentación de combustible hidrogenado se realiza entonces directamente desde el depósito de combustible hidrogenado 16 hacia el ánodo 28 a través de la bomba 18 y la canalización 117.
- 10 **[0055]** Pueden plantearse diferentes alternativas para esta variante del dispositivo de producción de electricidad. En particular, el quemador corriente arriba 50 puede implantarse fuera del recipiente 8.
- [0056]** La figura 5 representa una variante del dispositivo de producción de electricidad de la figura 1. En esta variante, independiente de las anteriores, la pila de combustible y sus medios de alimentación son idénticos a una u
15 otra de las formas de realización, pero los medios de evacuación de los efluentes 220 del dispositivo de producción de electricidad 204 comprenden, además, un medio de recuperación de energía térmica. En efecto, para aumentar el rendimiento del dispositivo de producción de electricidad, resulta ventajoso recuperar una fracción de la energía térmica de los efluentes gaseosos, que tienen una temperatura cercana a 950°C en la salida de la pila 24 y del quemador corriente abajo.
- 20 **[0057]** El medio de recuperación de energía térmica está constituido por un circuito secundario 60. El circuito secundario 60 incluye un generador de vapor 62, una turbina de vapor 64, un condensador de vapor 66 y una bomba 68 de recirculación del fluido que circula en el circuito secundario 60.
- 25 **[0058]** Como en las formas de realización precedentes, el circuito 21 de evacuación del gas incluye una válvula de regulación de presión 22 que permite mantener la presión corriente arriba superior a la presión que rige en el exterior del submarino.
- [0059]** El generador de vapor 62 se conecta al circuito 21 de evacuación de efluentes gaseosos, mientras el
30 circuito primario suministra el calor necesario para la vaporización del líquido del circuito secundario 60.
- [0060]** Como en las formas de realización precedentes, el circuito 21 de evacuación de gases incluye una válvula de regulación de presión 22 que permite mantener la presión corriente arriba superior a la presión que rige en el exterior del submarino.
- 35 **[0061]** La turbina de vapor 64 está acoplada a un alternador 70 que genera una potencia eléctrica adicional.
- [0062]** La potencia eléctrica adicional suministrada por el circuito secundario 60 puede representar del orden del 15% de la potencia eléctrica total generada por el dispositivo de producción de electricidad 204 que presenta, por
40 ello, un rendimiento global elevado que puede llegar aproximadamente hasta el 65%.
- [0063]** El uso de un generador de vapor 62 permite conservar el potencial de presión de los efluentes gaseosos, recuperando una parte de su energía térmica. Se conserva así la posibilidad de verter directamente los efluentes gaseosos en el mar.
- 45 **[0064]** El dispositivo de producción de electricidad según la invención suministra potencias eléctricas importantes. Con un dimensionamiento adaptado, dicho dispositivo de producción de electricidad puede hacerse compatible con un uso como fuente de potencia eléctrica para la alimentación de los medios de propulsión del submarino.
- 50 **[0065]** El uso de una pila de combustible que funciona a alta temperatura permite realizar las reacciones de reformado directamente en el interior de la pila. Además, esta pila es mucho menos sensible a los contaminantes que las pilas de baja temperatura, de manera que puede usarse una gran diversidad de carburantes para la aportación de hidrógeno. El uso de una pila de combustible que funciona a alta presión permite verter directamente
55 los efluentes en el agua de mar.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de producción de electricidad para un submarino, del tipo que incluye una pila de combustible (24), medios de alimentación de gas oxigenado (11), medios de alimentación de combustible hidrogenado (15, 115) y medios de evacuación de efluentes gaseosos (20, 220), **caracterizado porque** la pila de combustible (24) es una pila de reformado interno que funciona a alta temperatura y a alta presión, siendo la presión de funcionamiento (P) de la pila superior o igual a una presión de inmersión (P₀) del submarino (2),
- porque** los medios de alimentación de gas oxigenado (11) y los medios de alimentación de combustible hidrogenado (15, 115) son capaces de llevar el gas oxigenado y el combustible hidrogenado a una presión adaptada a la presión de funcionamiento para que el gas oxigenado y el combustible hidrogenado sean inyectados directamente en la pila,
- y **porque** los medios de evacuaciones de los efluentes gaseosos (20, 220) son capaces de evacuar los efluentes gaseosos al exterior del submarino cuando el submarino está sumergido, sin hacer descender la presión en la pila de combustible.
2. Submarino que incluye un dispositivo de producción de electricidad, **caracterizado porque** dicho dispositivo es un dispositivo de producción de electricidad (4, 104, 204) de acuerdo con la reivindicación 1.
3. Submarino según la reivindicación 2, **caracterizado porque** los medios de evacuación de efluentes gaseosos (20, 220) incluyen un circuito de evacuación de efluentes gaseosos (21) provisto de una válvula de regulación de presión (22) que permite mantener la presión de funcionamiento (P) por encima de la presión de inmersión (P₀).
4. Submarino según la reivindicación 3, **caracterizado porque** los medios de evacuación de efluentes gaseosos (20, 220) incluyen, además, un quemador corriente abajo (36) conectado en la entrada, por una parte, a un cátodo (26) de la pila de combustible (24) y, por otra parte, a un ánodo (28) de la pila de combustible (24), y conectado en la salida a la válvula de regulación de presión (22).
5. Submarino según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizado porque** los medios de evacuación de efluentes gaseosos (220) comprenden, además, un dispositivo de recuperación de la energía térmica de los efluentes gaseosos.
6. Submarino según la reivindicación 5, **caracterizado porque** el dispositivo de recuperación de la energía térmica de los efluentes gaseosos es un circuito secundario (60) que incluye un generador de vapor (62), una turbina de vapor (64) conectada a un alternador (70), un condensador de vapor (66) y una bomba de recirculación (68), estando el generador de vapor acoplado al circuito de evacuación de efluentes gaseosos (21).
7. Submarino según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, **caracterizado porque** los medios de alimentación de gas oxigenado (11) incluyen un depósito de oxígeno (12) capaz de contener oxígeno puro en fase líquida.
8. Submarino según la reivindicación 7, **caracterizado porque** los medios de alimentación de gas oxigenado (11) incluyen un vaporizador (32) capaz de generar oxígeno gaseoso para alimentar la pila de combustible (24), y una bomba (14) capaz de introducir oxígeno líquido en el vaporizador a una presión adaptada a la presión de funcionamiento (P).
9. Submarino según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** los medios de alimentación de combustible hidrogenado (15, 115) incluyen un depósito de hidrocarburos (16) y una bomba (18) capaz de introducir combustible hidrogenado en la pila de combustible (24) a la presión de funcionamiento (P).
10. Submarino según la reivindicación 9, **caracterizado porque** los medios de alimentación de combustible hidrogenado (115) comprenden, además, un quemador corriente arriba (50) conectado entre la bomba (18) y la pila de combustible (24), siendo el quemador corriente arriba (50) alimentado con combustible por una derivación de medios de alimentación de gas oxigenado (11), constituyendo dicho quemador corriente arriba (50) un sistema de precalentamiento del combustible hidrogenado.
11. Submarino según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** al menos la pila de combustible (24) se implanta en un recipiente (8) resistente a la presión cuya presión interna se mantiene a la

presión de funcionamiento (P) de la pila de combustible.

12. Submarino según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** la presión de funcionamiento (P) de la pila de combustible (24) es superior o igual a 10 bares, y preferentemente superior o igual a 5 una presión de inmersión máxima ($P_{0máx}$) del submarino (2).

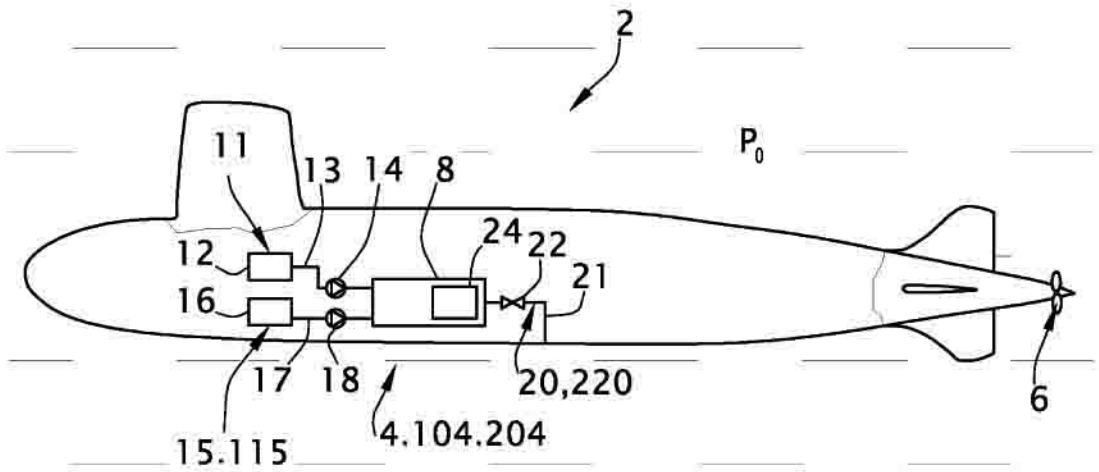


FIG. 1

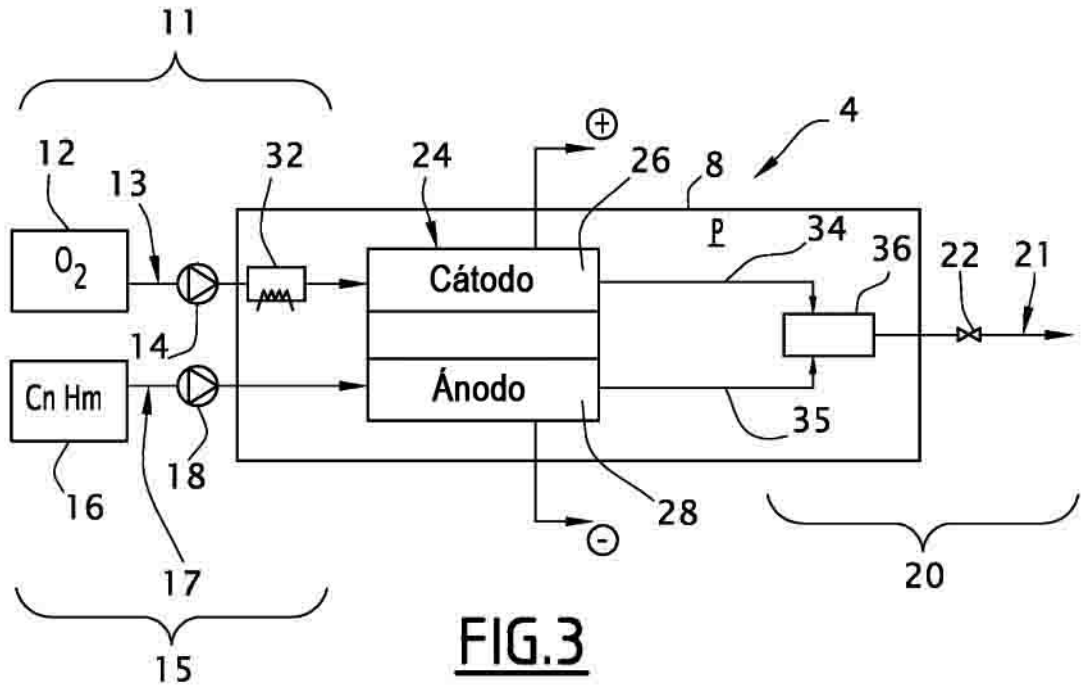


FIG. 3

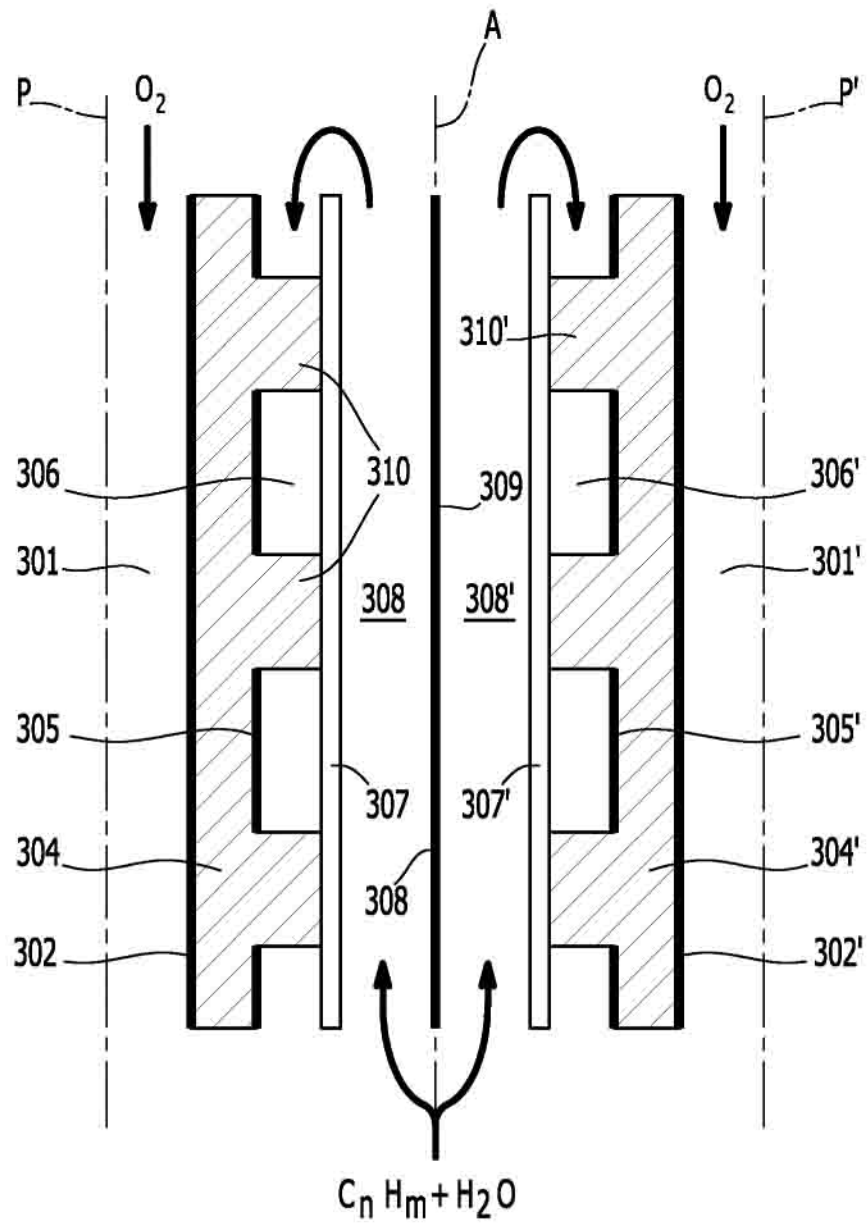


FIG.2

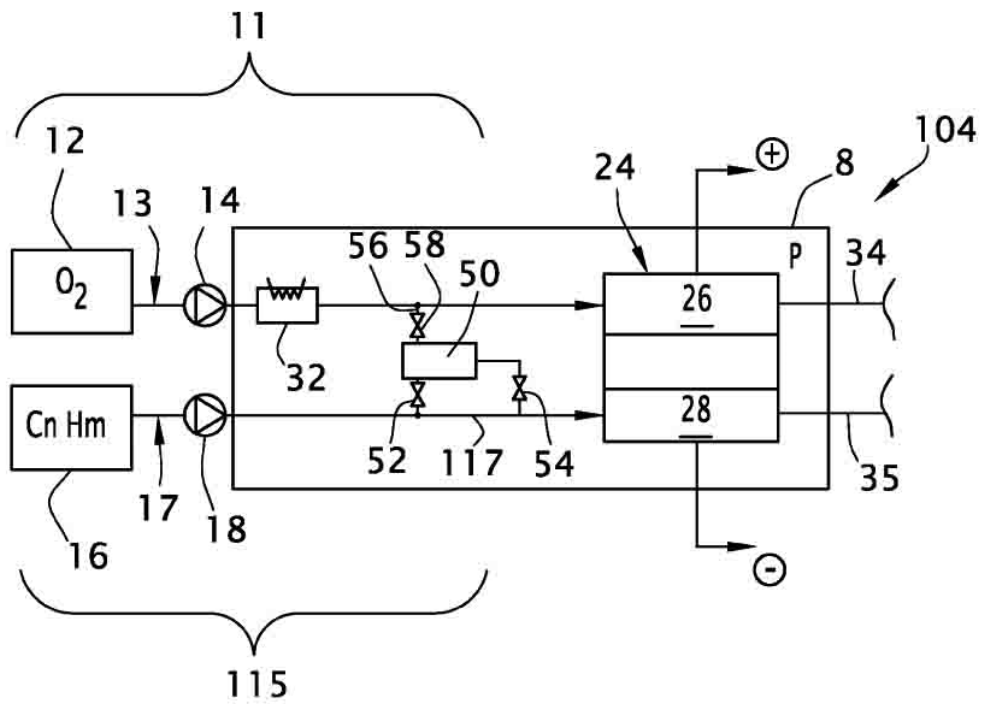


FIG.4

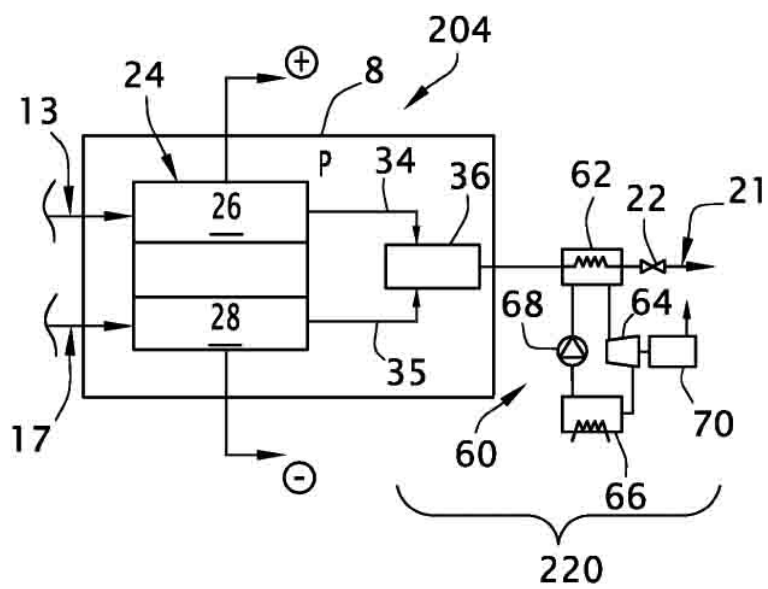


FIG.5